

Diseño de un semiautomatismo para asistir el proceso de fabricación tijera 45D de motocicleta Yamaha, en la empresa Solomoflex

Design of a semi-automatic system to assist manufacturing process of front fork 45D Yamaha motorcycle, at company Solomoflex

Carlos A. Montilla M^{1*}, Javier Andrés Gallego²

¹ M Sc., Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira Colombia.
cmontilla@utp.edu.co

² Joven Investigador, Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira Colombia
gallego.java@hotmail.com

Resumen— El presente artículo presenta los resultados del trabajo realizado en el marco del Convenio 0209 entre la Universidad Tecnológica de Pereira y Solomoflex Industrias y Manufacturas, cuyo objetivo es proponer soluciones para mejorar el proceso de producción de la tijera 45D de motocicleta Yamaha, para lo cual se vinculó un joven investigador bajo la tutoría de un docente de la Universidad Tecnológica de Pereira, y el acompañamiento de la empresa. En el artículo se describe: la problemática inicial, la caracterización del proceso actual, el planteamiento de soluciones, la metodología utilizada en el diseño, la estimación del incremento de la productividad, el cálculo del retorno de la inversión y el resultado parcial de fabricación del semi-automatismo.

Para la solución de la problemática se hizo uso parcial de la metodología Lean Manufacturing, pasando de un layout flow shop conformado por (7) estaciones de trabajo, (4) JIG's de posicionamiento y (7) operadores, a otro layout flow shop conformado por (3) estaciones de trabajo, (3) JIG's de posicionamiento-ensamble y (5) operadores. Con los recursos actuales se producen (250) tijeras en (59,5) horas-hombre, mientras que con el nuevo esquema y recursos asociados se producirán las mismas (250) tijeras en (38,4) horas-hombre; el incremento de productividad redundará en beneficios para la empresa y para el cliente.

Palabras clave— Jig, Arquitectura por proceso, Productividad, Diagrama Gantt, Manufactura esbelta, Retorno de la inversión.

Abstract— This article presents the results of work performed about the 0209 Convention between the Technological University of Pereira and Solomoflex Industries and Manufactures, which aims to propose solutions to improve the production process of front fork Yamaha motorcycle 45D, for which tied a young researcher under the guidance of a teacher of the Technological University of Pereira, and the support of the company. The article describes: the initial problem, the characterization of the current process, developing solutions, the methodology used in the design, the estimated increase in productivity, the calculation of return on investment and making partial result semi-automatic system.

For the solution of the problem was made partial use of Lean Manufacturing, passing a flow shop layout consists of (7) workstations, (4) JIG's positioning and (7) operators, flow shop layout to another consisting of (3) workstations, (3) JIG's positioning-assembly, and (5) operators. With current resources are produced (250) front fork (59.5) man-hours, while with the new scheme and associated facilities will produce the same (250) front fork (38.4) man-hours, an increase in productivity result in benefits for th, company and the customer.

Key Word — Jig, Layout flow shop, Productivity, Gantt chart, Lean Manufacturing. Return on Investment.

I. INTRODUCCIÓN.

Los principales problemas tecnológicos de las empresas que conforman la Cadena Metalmecánica colombiana, se encuentran bien explicitadas en el documento *Informe Especial "Inventario de Problemas y Oportunidades Tecnológicas [1]"*, el cual hace referencia a (17) problemas básicos y sistémicos, entre los cuales se destacan:

- Escasez de medios de acceso a la tecnología internacional o no uso de las existentes
- Deficiente construcción de troqueles, matrices y moldes
- Poco conocimiento de herramientas especiales para garantizar mayor productividad y calidad

La industria de automóviles y motocicletas no es ajena a la anterior problemática y la necesidad de automatizar procesos es alta, debido al volumen de producción y partes de proceso que manejan y a pesar de la disminución del factor humano, la automatización completa todavía es discutida como un tema difícil [2].

La empresa Solomoflex con la cual se desarrolló el proyecto, elabora más de un centenar de referencias de motopartes, para diferentes modelos y marcas de motocicletas; La tijera 45D para motocicleta Yamaha (Figura 1) se instala en la parte

trasera de la moto y es una parte crítica en ella; la geometría de la tijera es compleja y está conformada por (10) diferentes partes,

En Solomoflex la fabricación de la tijera se efectúa con procesos previos de corte, doblez, ranurado, etc., hasta llevarlas a un proceso de ensamble en una línea *flow shop*; en dicha línea haciendo uso de JIG's de posicionamiento y aplicando uniones manuales por soldadura MIG. Se le da la forma final, para pasar luego a un proceso de acodalado (tijera por tijera), otro de control de calidad y finalmente pintura. La tijera está hecha de lámina CR calibre 16, ocupa un área de 700 mm x 300mm, pesa 3,8 kg y para su fabricación se aplican (24) cordones y (22) puntos de soldadura, en diferentes posiciones y de diferentes longitudes.

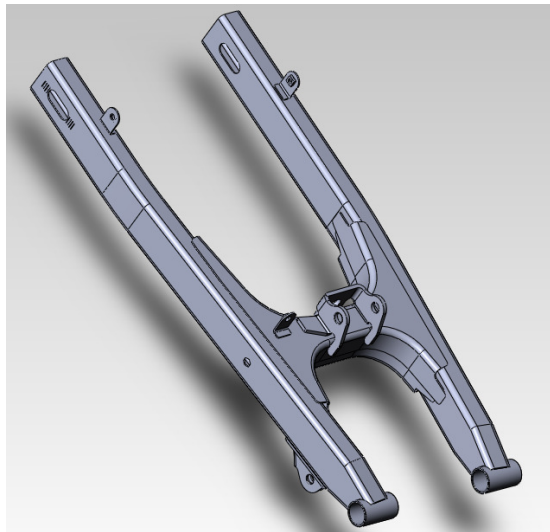


Figura 1. Tijera 45D Yamaha

La Manufactura esbelta o *Lean Manufacturing* es una metodología que tiene por objetivo eliminar el desperdicio e identificar las operaciones que no le agregan valor al producto o al proceso, con el fin de generar beneficios tangibles para el producto final. *Lean Manufacturing* es una filosofía de excelencia de la manufactura basada en: eliminación del desperdicio, respeto por el trabajador, procesos continuos de análisis, mejora continua de productividad y calidad, producción *pull*, y elementos y procesos a prueba de fallos (*poka yoke*) [3].

La Manufactura esbelta se aplicó parcialmente en el presente proyecto para estudiar y caracterizar el proceso, identificar oportunidades de mejora, hacerle seguimiento a los diseños, predecir incrementos de productividad en el proceso, teniendo en cuenta los requerimientos básicos de la ergonomía.

II. METODOLOGÍA PARA LA APLICACIÓN GENERAL.

El proyecto se desarrolló en las fases de: revisión bibliográfica, descripciones técnica y económica del proceso actual, planteamiento de alternativas de solución, bosquejo de solución, elaboración de planos preliminares, simulación del semi-automatismo, estimación inicial del aumento de la productividad, aprobación del diseño preliminar por parte de la empresa, selección de materiales y componentes comerciales, elaboración de planos finales, elaboración de presupuesto final, fabricación de estación 1 por parte de la empresa, pruebas

A. Descripción del proceso actual y cálculo de su rendimiento

El proceso de manufactura actual de la tijera 45D (previos cortes y dobleces de las 10 partes) se corresponde con un *layout flow shop*, subdividido en (7) estaciones de trabajo, (4) JIG's de posicionamiento y (7) operadores. La Figura 2 ilustra los tiempos empleados en cada estación y en cuales de ellas se hace uso de JIG's de posicionamiento, los cuales solo se emplean para presentar las piezas y puntearlas, mientras que los cordones se aplican por fuera de ellos.

Para fabricar (250) tijeras la producción arrojada por el sistema actual es el descrito por la Ec. 1. **Nota:** $M=N^{\circ}$ de estaciones

$$H - H \text{ actuales} = M * \text{horas} / \text{turno} = 7 * 8,5 \quad (1)$$

$$H - H \text{ actuales} = 59,5 \frac{\text{horas} - \text{hom bre}}{\text{para 250 tijeras}}$$



Figura 2. Tiempos por estación de sistema actual

La Figura 3 presenta en diagrama Gantt de la actual distribución de tiempos.

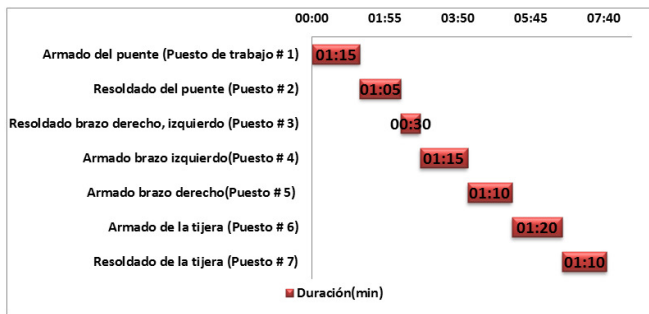


Figura 3. Diagrama Gantt del sistema actual

El proceso actual presenta las siguientes ventajas:

- Simplicidad. No posee automatismos elaborados y cualquier falla es subsanable por los mismos operadores.
- A pesar de ser un proceso manual, está bastante balanceada la línea, evitando saturar las estaciones de trabajo (Figura 3).

Por otro lado, el sistema actual de fabricación presenta los siguientes inconvenientes:

- Hay problemas de ergonomía en algunas estaciones, sobre todo en las que se aplican las costuras largas (del orden de 250 mm), puesto que se aplican sobre una superficie curva, siendo de gran exigencia para el operario, ya que a medida que transcurren las horas de trabajo empieza a presentar cansancio en la muñeca de la mano y la presentación de la soldadura desmejora.
- Al utilizar los JIG'S solo para presentar y puntear, obliga posteriormente al operador a cordonear con la pieza en completa libertad (por fuera del JIG), con lo que se facilita su deformación térmica y por lo tanto implica que más adelante, en otra sección de la planta haya que hacerles acodalamiento y control de calidad a cada una de las tijeras.
- Para la operación de acodalado el operador ubica la tijera en un JIG de inspección, y procede a acodalado a golpe, lo que conlleva un elevado esfuerzo físico y cansancio acumulado.

Como se aprecia el impacto de las tareas manuales es muy alto, y repercute en problemas de ergonomía, calidad y rendimiento.

A. Planteamiento de alternativas de solución

Con base al conocimiento adquirido al documentar el proceso, a revisiones bibliográficas, a búsquedas de soluciones comerciales (tanto nacionales como foráneas) se llegó a definir dos posibles soluciones:

- Utilización de mesas modulares para soldadura y ensamble, que poco aportarían a mejorar el proceso actual [4], [5] y [6].

- Un proceso automatizado muy complejo y costoso (con varios robots industriales de seis grados de libertad). Como alternativa a los dos caminos anteriores se definió un camino intermedio (basado en [10], [11], [12] y [13]) consistente en reunir las (7) estaciones de trabajo y soldadura actuales, en (2) nuevas estaciones de ensamble, al igual que una parte del proceso de acodalado e inspección [14]. De (7) operadores de ensamble y soldadura se pasaría a solamente (5). Las dos estaciones poseerán estructuras, jig's, cilindros neumáticos, motoredutores y elementos de maniobra para los componentes anteriores.

En el sistema nuevo los jig's de fabricación y ensamble se utilizarán tanto para posicionar los elementos de cada subconjunto, como para puntearlos y cordonear, con lo cual se espera que las deformaciones por temperatura sean menores que en el sistema actual. Será necesario dotar ambas estaciones de un sistema de ventilación simple para robarle calor al puente, a la tijera y a los jig's, minimizando su calentamiento y su consecuente deformación.

B. Descripción del semi-automatismo.

Los (7) puestos de trabajo fueron agrupados en dos estaciones de trabajo, una para el ensamble del puente y la segunda para el ensamble de la tijera en su totalidad (puente más brazos y accesorios).

La Figura 4 presenta una vista de la estación I, en la que solamente laborará una persona, encargada de prefabricar todos los puentes (250 por jornada). La mesa posee un JIG de posicionamiento y soldadura (Figura 5) En el diseño se concibió un semi-automatismo neumático para rotar el JIG y mejorar la ergonomía del operador. Esta estación reunirá el trabajo que se desarrolla actualmente en las estaciones 1 y 2.

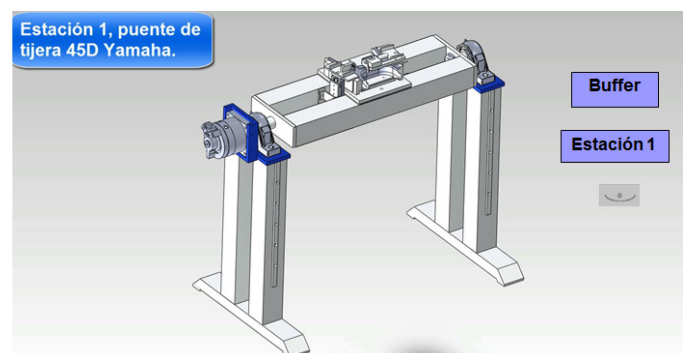


Figura 4. Vista general de la estación I

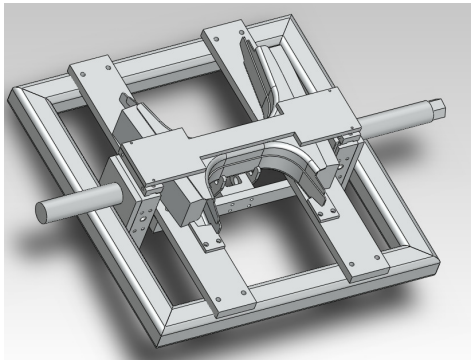


Figura 5. JIG de sub-ensamble para el puente

La Figura 6 presenta el diagrama Gantt de la estación I, arrojando un tiempo por puente de 2'05", con lo que se alcanzaría una tasa de producción de (28) puentes / hora y (238) puentes / jornada laboral de (8,5) horas.

La Figura 7 presenta una vista de la estación II, en la que los estudios de tiempo indican que deberán laborar sincronizadamente (2) operadores, dotados con caretas fotosensibles. Esta estación posee también un JIG de posicionamiento y soldadura (Figura 8). En el diseño se concibió un semi-automatismo neumático para rotar el JIG y mejorar la ergonomía de los (2) operadores. Esta estación reunirá el trabajo que se desarrolla actualmente en las estaciones 3, 4, 5 6 y 7 y parte del acodalado.

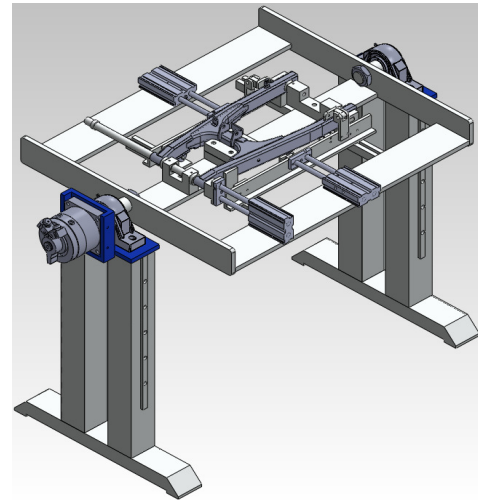


Figura 6. Vista general de la estación II

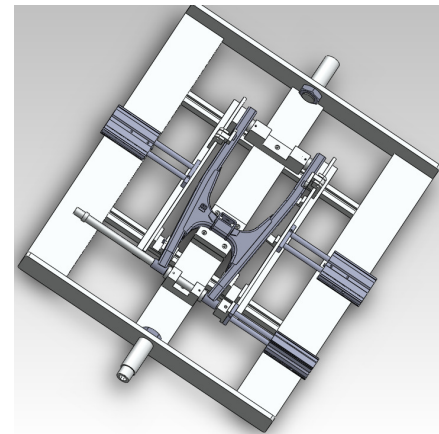


Figura 7. JIG de ensamble de la tijera 45D Yamaha



Figura 6. Diagrama Gantt de la estación I para puentes

El diagrama Gantt de la Figura 8 muestra que el tiempo esperado para ensamblar una tijera en la estación II será de 3'25", con sus (2) operadores.



Figura 8. Diagrama Gantt estación II para ensamble tijeras

La consideración de agrupar los (7) puestos de trabajo en (2) se basó principalmente en los análisis de tiempo hechos y en las diferentes dificultades tecnológicas que se encontraron al tratar de agrupar el ensamble de la tijera en una sola estación,

ya que la solución se volvería un sistema sumamente complejo.

Los cálculos del tiempo requerido para producir (250) tijeras en una jornada de (8) horas, indicaron que no bastaría con (1) estación I y (1) estación II, sino que sería necesario hacer uso de (1) estación I y (2) estaciones II, en una distribución como la mostrada en la figura 9.

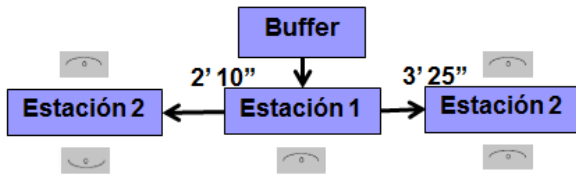


Figura 9. Distribución en planta con nuevas estaciones I y II

C. Evaluación de los conceptos de diseño de las estaciones y sus JIG'S

En el diseño de los JIG de las estaciones I y II se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Tamaño, peso y geometría del objeto a soldar (puente y tijera completa respectivamente).
- Tipo de material a soldar, así como sus propiedades mecánicas e inercia térmica.
- El tipo de soldadura a aplicar (MIG para el presente caso).
- Tensiones y esfuerzos generados por la soldadura.
- La exactitud esperada al culminar el proceso de ensamble de la pieza.
- Las abrazaderas asumen una estabilidad segura de los componentes soldados en las posiciones requeridas.
- La funcionalidad del JIG, en el sentido que poseerán partes móviles, para facilitar el posicionamiento, sujeción durante la soldadura y posterior liberación de la pieza. Los JIG's diseñados poseen actuadores neumáticos para este propósito.
- Rigidez mecánica del conjunto. A este respecto se hicieron análisis estáticos y dinámicos, cuyos resultados no son posibles mostrar por consideraciones de espacio.

D. Estimación del cambio en la productividad

La Ec. (2) estima el nuevo tiempo para fabricar (250) tijeras/jornada en la nueva estación I.

$$H - H \text{ estación I} = \frac{250 \text{ puentes}}{\left(\frac{60}{\text{Tiempo estimado estación I}} \right)} \tag{2}$$

$$H - H \text{ estación I} = \frac{250}{\left(\frac{60}{2,083} \right)} = 8,68 \text{ horas} = 8 \text{ horas } 41 \text{ min}$$

La Ec. (3) estima el nuevo tiempo para fabricar (250) tijeras/jornada en las dos nuevas estaciones II.

$$H - H \text{ estación II} = \frac{250 \text{ puentes}}{\left(\frac{60}{\text{Tiempo estimado estación II}} \right)} * \frac{n^{\circ} \text{ operarios}}{\text{estación}} \tag{3}$$

$$H - H \text{ estación II} = \frac{250}{\left(\frac{60}{3,42} \right)} * 2 = 28,5 \text{ horas} = 28 \text{ horas } 30 \text{ min}$$

Las horas-hombre para fabricar (250) tijeras en las nuevas estaciones I y II serían:

$$H - H \text{ nuevas estaciones I y II} = 37 \text{ horas } 11 \text{ min}$$

La tabla 1 presenta el ahora y el panorama esperado con la implementación del semi-automatismo diseñado.

Recursos para producción de (250) tijeras 45D de Yamaha		
	Sistema actual	Sistema nuevo
Nº estaciones	7	3
Nº operarios	7	5
Horas-hombre	59,5	37,18 ***
Tiempo de fabricación para una tijera	7,75 (7' 45'')	5,5 (5' 30'')
Tiempo de inspección y acodalado de una tijera	2' 35''	Por definir. Se espera que disminuya
Tiempo total de fabricación para (250) tijeras	59h 30'	37h 18'
Tiempo de fabricación para (250) tijeras, Estación I	17h	8h 41'

Tabla 1. Panorama actual y futuro con el rediseño de proceso. Con base en la tabla 1 se observa una reducción de 22,32 horas por jornada.

Una vez culminado el diseño la empresa decidió fabricar inicialmente la estación I, someterla a prueba y validar su comportamiento en proceso real, antes de proceder a fabricar la estación II (la más costosa). La tabla 2 presenta los resultados de convertir el aumento de productividad a términos de dinero.

	Actual	Proyectado
Salario: 1,5 SMLV a \$589.500; Factor prestacional aprox.: 46%		
Valor hora-hombre: \$5.380		
	Actual	Proyectado
Horas-hombre	17	8,7 Nota1
Costo jornada para 250 tijeras	\$91.460	\$46.806
Ahorro por jornada	(\$91.460 - \$46.806) = \$44.654	

Tabla 2. Panorama actual y futuro con la estación I

En la referencia [14] se pueden consultar los listados de partes y los presupuestos detallados para cada estación, no obstante, el costo para la estación es de \$2.404.480. Teniendo presente que el *batch* de (250) tijeras se produce una vez a la semana, suponiendo un retorno lineal de la inversión, y sin contemplar ahorros en energéticos, los \$2.404.480 se recuperarían en:

$$\text{Re torno de la inversión (jornadas)} = \frac{\$2.404.480}{\$44.654 / \text{jornada}}$$

$$\text{Re torno de la inversión (jornadas)} = 53,8 \text{ jornadas}$$

$$\text{Retorno de la inversión (meses)} = 12,6 \text{ meses}$$

III. RESULTADOS

Una vez concluido el proyecto se dispone de los siguientes resultados:

- Diseño de un sistema de producción simplificado para fabricar de manera semi-automatizada, las tijeras 45D para motocicleta Yamaha, consistente en (2) estaciones de trabajo, con mejora de la ergonomía y de la productividad.
- Para las estaciones I y II, se dispone de videos de simulación de operación, listados de partes, planos constructivos para cada una de las partes, presupuestos de fabricación de las nuevas estaciones I y II [14].
- Estimaciones de productividad actual y futura, con las nuevas estaciones I y II [14].
- Panorama actual y futuro del proceso productivo de la tijera 45D de Yamaha [14].

IV. CONCLUSIONES

Se aplicó la metodología *Lean Manufacturing* para rediseñar y mejorar un proceso productivo en una industria del eje cafetero y se concluye que se lograron los objetivos porque el diseño muestra que se reducen estaciones de trabajo, n° de operarios, esfuerzo físico, horas-hombre, costo de producción mientras que se mejora la productividad y la ergonomía y se espera que repercuta en calidad de producto.

La aplicación de *Lean Manufacturing* permitió hallar una solución acorde a la realidad local y regional de la empresa, sin llegar a una solución compleja y costosa como la de emplear varios robots de (6) grados de libertad, solución que obligaría no solo a reconvertir una parte sustancial de la sección de soldadura de Solomoflex, sino a cambiar personal personal de la empresa, es decir, efectuar un salto tecnológico que para el cual la empresa no está ni preparada ni interesada por ahora. [7], [8] y [9].

En el ámbito académico se ha logrado una apropiación de conocimiento en el campo de los JIG's de armado y ensamble y se ha establecido un vínculo Universidad – medio

productivo, con el fin de dar solución a una problemática concreta

La metodología trabajada puede ser aplicada por la empresa a otras de sus áreas, para obtener resultados similares en el proceso de fabricación de otra serie de tijeras para otras motocicletas

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al programa jóvenes investigadores e innovadores Virginia de Pineda de Colciencias, a la Universidad Tecnológica de Pereira y Solomoflex Industrias y Manufacturas por haber hecho posible la ejecución de este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] Serna, I. C. “Caracterización Ocupacional del Sector Metalmeccánico”. Informe de la Mesa Sectorial Metalmeccánica. Manizales, marzo 2002.
- [2] The effect of welding fixtures on welding distortions, M. Vural*, H.F. uzafferoglu, U.C. Tapici Mechanical Engineering Department, Istanbul Technical University, Inonu Caddesi, No:87 34437 Istanbul Turkey. 2007.
- [3] Womack, James. Jones, Daniel. *Lean thinking: cómo utilizar el pensamiento Lean para eliminar los despilfarros y crear valor en la empresa*. Ed. Gestión 2000.2005 - 478 páginas
- [4] Foster Welding systems, mesas para soldar. Alemania. Disponible en: <http://www.forster-welding-systems.com/es/mesas-para-soldar/mesas-para-soldadura-en-3d.html>
- [5] Strong hand tools. Modular welding tables. California, Estados Unidos de America. Disponible en: <http://www.stronghandtools.com/buildpro/index.php>
- [6] Spirsin, mesas spirsin. España. Disponible en: <http://www.spirsin.com/mesas-spirsin>
- [7] Robotic Mig welding cell. Disponible en: <http://www.youtube.com/watch?v=8I9PBIEMsVU>
- [8] Honda welding robot. Disponible en: <http://www.youtube.com/watch?v=362vMN7Ra4w>
- [9] BMW motorcycle production. Disponible en: <http://www.youtube.com/watch?v=-XuKmkeBK0g>

- [10] Study On The Intelligent CAD Technology of Body Welding Jig Based on the Knowledge, Xiaoping Xiong, Quandong Jin, Pingping Jiang, School of Electromechanical Automobile Engineering, Yantai University Yantai, China, 2009.
- [11] Design of the welding fixture for the robotic stations for spot welding based on the modular concept, mikulas hajduk, jan semjon, marek vagas, fakulty of mechanical engineering – technical university of košice, 2009.
- [12] Application of CAD Techniques in Design of Automobile Body Welding Line, Guiying Tong, Xiaomei Shao, School of Mechatronics and Automobile Engineering Yantai, University Yantai, China, 2011
- [13] Villarmín, David. Evaluación y mejoras ergonómicas del puesto de operador de línea de soldadura en tareas de Cambio de Referencia Universidad internacional de la Rioja, España 2012.
- [14] Convenio 0209 entre Universidad Tecnológica de Pereira y Solomoflex Industrias y Manufacturas. Informe Técnico del proyecto. Vicerrectoría de Investigaciones. Pereira, 2013. Disponible en: <http://www.utp.edu.co/vicerrectoria/investigaciones/investigaciones/DetallesProyecto/1335>